

Metodologia Trama Verde-Azul como instrumento de suporte para a gestão urbana e ambiental na cidade de Porto Alegre (Rio Grande do Sul)

Paulo Lima Loge ^{1*}, André Luíz Lopes da Silveira ²

¹Doutorando em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. (*Autor correspondente: paulo.loge1@gmail.com)

²Professor Dr. em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 04/04/2022 – Revisado em: 23/04/2022 – Aceito em: 29/05/2022

RESUMO

O aumento da urbanização e o desafio do fenômeno das mudanças climáticas exigem que nossas cidades sejam mais resilientes e estruturadas para proporcionar ambientes mais saudáveis para o ser humano e a biodiversidade como um todo. À partir de dois Relatórios de Impacto Ambiental de empreendimentos imobiliários na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, (Brasil) é feito um estudo utilizando o sensoriamento remoto, geoprocessamento e uma análise multivariada por agrupamento e coordenadas principais pela matriz de similaridade euclidiana, complementada com uma análise comparativa de riqueza de espécies pelo índice de Shannon. O objetivo do trabalho é estruturar uma Metodologia Trama Verde-Azul como ferramenta que possa avaliar a qualidade ambiental a partir de dados ecológicos e espaciais a ser aplicada em estratos da paisagem para a restauração e conservação dos corredores de biodiversidade, sendo que os resultados apontam a influência da ação antrópica nas duas unidades amostrais analisadas, principalmente nos corpos d'água indicando a viabilidade do método a fim de auxiliar a tomada de decisão na gestão urbana e ambiental de acordo com a realidade local.

Palavras-Chaves: Geociências, Análise multivariada, Planejamento urbano, Trama Verde-Azul.

Green-Blue Grid Methodology as a support instrument for urban and environmental management in Porto Alegre (Brazil)

ABSTRACT

The increase in urbanization and the challenge of the phenomenon of climate change demand that our cities be more resilient and structured to provide healthier environments for human and biodiversity as a whole. Based on two Environmental Impact Reports of real estate projects in the city of Porto Alegre, Rio Grande do Sul, (Brazil) a study is made using remote sensing, geoprocessing and a multivariate analysis by clustering and principal coordinates by the Euclidean similarity matrix, complemented with a comparative analysis of species richness by the Shannon index. The objective of the work is to structure a Green-Blue Methodology as a tool to evaluate environmental quality from ecological and spatial data of landscape strata to improve and protect the biodiversity ways. The results suggest the influence of anthropic action on the two sample units analyzed and especially in water indicating the viability of the method in order to assist decision-making in urban and environmental management according to the local reality.

Keywords: Geosciences, Multivariate analyze, Urban planning, Green-Blue Grid.

Loge, P.L., Silveira, A.L.L. (2022). Metodologia Trama Verde-Azul como instrumento de suporte para a gestão urbana e ambiental na cidade de Porto Alegre (Rio Grande do Sul). *Meio Ambiente (Brasil)*, v.4, n.2, p.34-49.



Direitos do Autor. A Meio Ambiente (Brasil) utiliza a licença *Creative Commons* - CC Atribuição Não Comercial 4.0 CC-BY-NC.

1. Introdução

Aproximadamente metade da população do planeta vive em cidades nos dias atuais (Pötz, 2012), sendo que as distâncias entre localidades antes remotas têm sido encurtadas pelos meios de transporte e inovações tecnológicas que possibilitam maior abrangência das atividades metropolitanas antes inexistentes em algumas localidades (Magalhães, 2008). A metropolização ocasiona impactos no ambiente natural contribuindo para o fenômeno de mudanças climáticas e exigindo que nossas cidades sejam mais resilientes e preparadas para enfrentar os desafios atuais adotando ferramentas que possibilitem analisar a dinâmica ecológica e auxiliem os gestores na tomada de decisão a fim de proporcionar cidades ambientalmente mais equilibradas.

A Trama Verde-Azul é uma proposta metodológica de abordagem no planejamento urbano e ambiental que busca compatibilizar os espaços e as conexões necessárias para a biodiversidade incorporando ações integradas na gestão de recursos hídricos, áreas verdes e infraestrutura na busca de ambientes mais saudáveis e com melhor qualidade de vida (Silveira A. L., 2018). O Conceito Trama Verde-Azul foi abordado no Fórum *Grenelle de l'environnement* (2007), ocorrido em Paris em 2007, ocasião em que foram elaboradas diretrizes para proteção, conservação e restauração de corredores de biodiversidade na França através de estratégias de escala local, regional e nacional (Ressources, 2022), sendo estas incorporadas nas Leis francesas nº 967/2009 (*Grenelle do Meio Ambiente*) e 788/2010 (*Compromisso com o Meio Ambiente*). A legislação francesa possui abordagem ampla em temas como energia, urbanismo, vegetação, água, paisagem, biodiversidade e bacias hidrográficas (Amsallem, Deshayes, & Bonnevalle, 2010) agregando planejamento territorial, pesquisas, projetos e a participação comunitária (entidades, organizações não governamentais, empresas, universidades, etc.). Também há experiências bem-sucedidas de intervenções urbanas com enfoque ambiental em cidades como Londres, Cingapura entre outras que receberam designações semelhantes como *Green-Blue Grids*, *Urban Greenlines* entre outras (Groenblaw, 2022) indicando a relevância do tema nos dias atuais.

O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental de Porto Alegre (Lei Municipal nº 434 de 1º/12/1999) tem entre outros objetivos a proteção e a conservação do meio ambiente (Artigo 1º), entretanto, assim como o marco jurídico brasileiro, não possui a abrangência conceitual da Lei francesa *Grenelle* (Tozato, 2015). Apesar de contar com instituições capacitadas para a produção científica e gestão urbana eficiente, Porto Alegre também não dispõe de mecanismos de integração de pesquisas com as práticas urbanas que promovam adaptações constantes na legislação e nas políticas públicas a fim de estabelecer os corredores ecológicos com base no conhecimento da dinâmica da fauna e flora (Loge, 2018).

A implementação de uma Trama Verde-Azul deve apoiar-se em metodologias de análise utilizadas na ecologia e ferramentas da geociência no conhecimento das interações entre os organismos na tentativa de tentar explicar o comportamento e estrutura de comunidades ecológicas projetadas no espaço. Neste sentido, o agrupamento das espécies pode sugerir a influência de fatores bióticos e abióticos sobre estas (Begon, Townsed, & Harper, 2006), bem como a identificação de comunidades ecológicas através dos diferentes níveis de similaridade permite reconhecer subconjuntos descontínuos em possíveis ambientes percebidos como contínuos e gerar tipologias que possibilitem uma visão simplificada e estruturada de um sistema ecológico (Legendre & Legendre, 2012).

Uma rede ecológica é composta pelos espaços vitais onde as espécies realizam a maior parte do seu ciclo de vida como acasalamento, alimentação, descanso e hibernação (Amsallem, Deshayes, & Bonnevalle, 2010, p. 5). Esses locais podem ser próximos ou distantes; para anfíbios, por exemplo, os locais de hibernação devem estar a poucas centenas de metros de lagoas e patos podem se alimentar nas estações frias em sítios espaçados a cerca de dez quilômetros entre eles; para pássaros migrantes de longa distância como a *Ciconia ciconia* (cegonha-branca) estas áreas estão a centenas de quilômetros mostrando que uma trama ecológica não necessariamente significa continuidade espacial (Amsallem, Deshayes, & Bonnevalle, 2010, pp. 5-6). A título de ilustração dos desafios atuais, o estudo de Braga (2015) aponta que alterações na temperatura do planeta fazem com que algumas espécies de pássaros como o *Neoxolmis rufiventris* (gaúcho-chocolate), que habita

campos de gramíneas de clima temperado tenha que migrar para outras regiões mais propícias para reprodução ou hibernação (Braga, 2015). Neste sentido, é possível afirmar que a qualidade ambiental de um território pode ser medida pela diversidade de espécies nos seus habitats característicos, principalmente por animais que são considerados bio-indicadores (Prestes & Vicenci, 2019) como aves (Baesse, 2015) e peixes (Cassatti, Ferreira, & Langeani, 2009) que respondem rapidamente aos efeitos da ação antrópica, das oscilações do clima e degradação dos habitats.

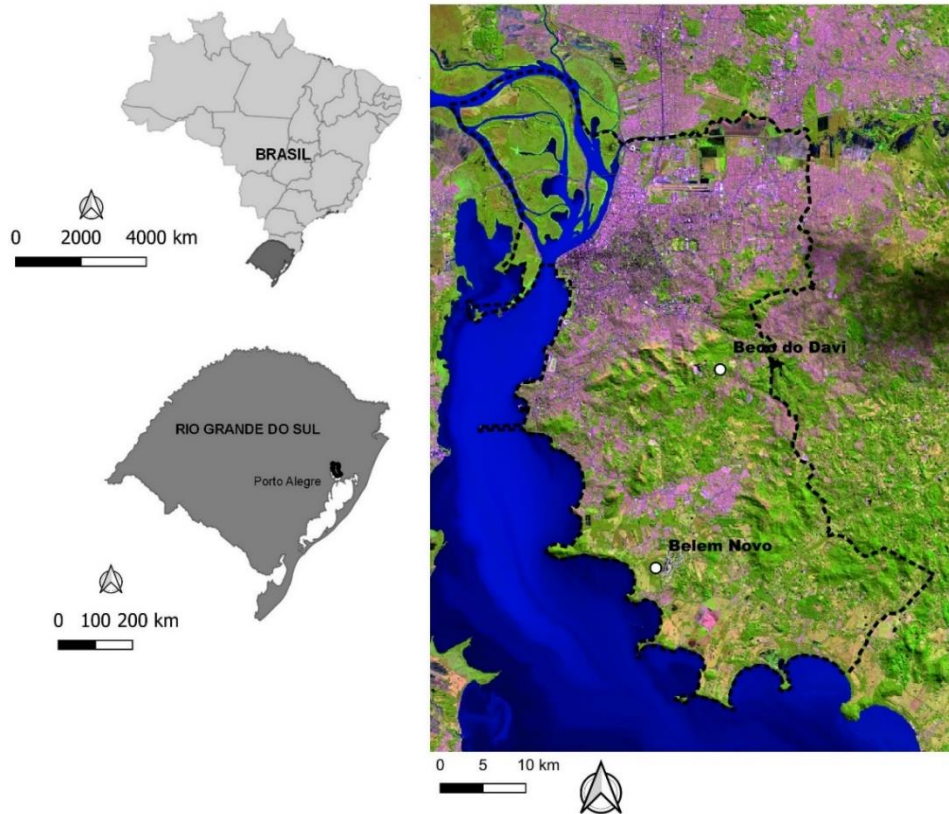
Pesquisas sobre fenômenos ambientais projetados no espaço também devem agregar técnicas do processamento de imagens de satélite através do Sistema de Informações Geográficas (SIG), visto que imagens obtidas por sensoriamento remoto permitem obter grande número de informações sobre a propriedade de objetos sem necessariamente ter contato com eles. Gomes & et.al. (2020) utilizando a classificação de imagens do satélite Sentinel-2 observaram a separação homogênea da vegetação do bioma Pampa e o mapeamento de espécies invasoras (Gomes, Schwartzman, Fonseca, & Saldanha, 2020) e Silva (2020) obteve resultados satisfatórios utilizando os índices *ndwi*, *ndvi*, *savi* com as bandas espectrais 2 e 7 na classificação supervisionada de áreas irrigadas a partir de imagens do Satélite *Landsat-8* pela plataforma *Google Earth Engine* (Silva, 2020).

Baseado em dados do meio biótico de dois Estudos de Impacto Ambiental realizados para empreendimentos imobiliários na cidade de Porto Alegre, o presente trabalho tem como objetivo propor uma Metodologia Trama Verde-Azul utilizando o geoprocessamento, a análise multivariada e o Índice de Diversidade de *Shannon* a fim de projetar informações ecológicas no espaço geográfico, cujos resultados possam subsidiar a tomada de decisão em estratégias no planejamento urbano e ambiental para restauração e conservação dos corredores de biodiversidade, podendo ser testado em outras cidades de acordo com a realidade local.

2. Material e Métodos

2.1 Área de Estudo

A escolha do Beco do Davi (Lomba do Pinheiro) e Belém Novo para a realização do trabalho foi feita por contemplarem grande parte do mosaico característico de paisagens da cidade de Porto Alegre, conforme dados colhidos nos relatórios (EIA-RIMA) para licenciamento de empreendimentos imobiliários (Figura 1).

Figura 1 – Localização dos empreendimentos.

Fonte: Mapa feito pelo autor no programa *QGIS*.

A geomorfologia natural de Porto Alegre é orientada pelas encostas íngremes dos morros graníticos e as áreas úmidas do Delta do rio Jacuí (Menegat & al., 1998). Os campos nativos da região metropolitana são encontrados tanto em áreas de banhado como em locais bem drenados; nas áreas alagadiças predominam as formações gramíneas geralmente utilizadas para o pastoreio, produção de hortaliças ou plantação de arroz, sendo os campos rupestres mais elevados e secos os que apresentam maior diversidade de espécies (Hasenack & Et.al., 2008).

O condomínio residencial Belém Novo (coordenadas UTM 486704 / 6671305) está na área de influência da sub-bacia do arroio Gabiroba composta por vegetação de clima frio mesclado com formas vegetais herbáceas, gramíneas e leguminosas (originadas das regiões Andino-patagônicas e Chaco-pampeanas) de acordo com a classificação sugerida por Hasenack (2008) (Hasenack & Et.al., 2008). O local é caracterizado por campos que apresentam alteração por cultivo, pastoreio e cercados por comunidades de *Mimosa bimucronata* (maricá), típica da região. As composições florestais são constituídas por matas psamófilas (adaptadas a condições salinas e arenosas do solo) em mancha contínua e desigual quanto a fisionomia, sendo os corpos d'água compostos por áreas de banhado no interior da gleba (Profill, Condomínio Residencial Belém Novo, 2007).

O Empreendimento Habitacional Beco do Davi na Lomba do Pinheiro (coordenadas UTM 481763/ 6658991) faz divisa com o arroio Mato Grosso (bacia hidrográfica do arroio Dilúvio) cercado na vizinhança por ocupações irregulares, corpos d'água com trechos canalizados, nascentes no interior e nas divisas do imóvel. A vegetação é composta por mata ciliar, manchas de mata nativa, espécies exóticas e formações

herbáceas e arbustivas alteradas e em fase de regeneração (Profill, Empreendimento de Interesse Social Beco do Davi, 2009).

2.2 Meio biótico da área de estudo

As aves são muito utilizadas como bio-indicadores em decorrência da quantidade de espécies na natureza e a capacidade de responder rapidamente a alterações no ambiente. Mais da metade das aves são da ordem taxonômica dos *passeiformes* (aproximadamente 6000 espécies) e que apresentam grande diversificação morfológica, biológica e comportamental. Entre os pássaros observados nos Relatórios e muito comum em Porto Alegre está o *Vanellus chilensis* (quero-quero), popularmente apelidado de “Sentinela dos Pampas” no Rio Grande do Sul. Ocorre da América Central ao extremo da América do Sul; de comportamento agressivo, se reproduz, nidifica no solo (principalmente em campos, pradarias e até em áreas florestais) e alimenta-se de pequenos invertebrados (Delfino, 2020).

Entre os répteis identificados está o *Salvator merianae* (lagarto-teiú) que ocorre desde os Andes até o norte da Patagônia; são ovíparos, mas também se alimentam de roedores, aves, anuros e serpentes, sendo agressivos quando acuados (Reis, 2020). Entre os anfíbios está o *Hyla faber* (sapo ferreiro ou sapo martelo), que é uma espécie de grande porte, cabeça grande e pequeno espinho na base do polegar (Lema & Martins, 2011). O nome se deve ao barulho do seu coaxar; tem hábitos noturnos, se alimenta de pequenos invertebrados, podendo ser facilmente visto em locais úmidos em épocas chuvosas (Santana, 2020). Um dos mamíferos listados; muito comum na região é o *Dasyopus novemcinctus* (tatu-galinha) que ocorre em todo o Rio Grande do Sul e cuja carne é muito apreciada e caçada para consumo humano. Possui rígida carapaça, alimentam-se de invertebrados, pequenos vertebrados, tubérculos, frutas, fungos e vivem em tocas de dimensões variadas (Silveira F. F., 2020).

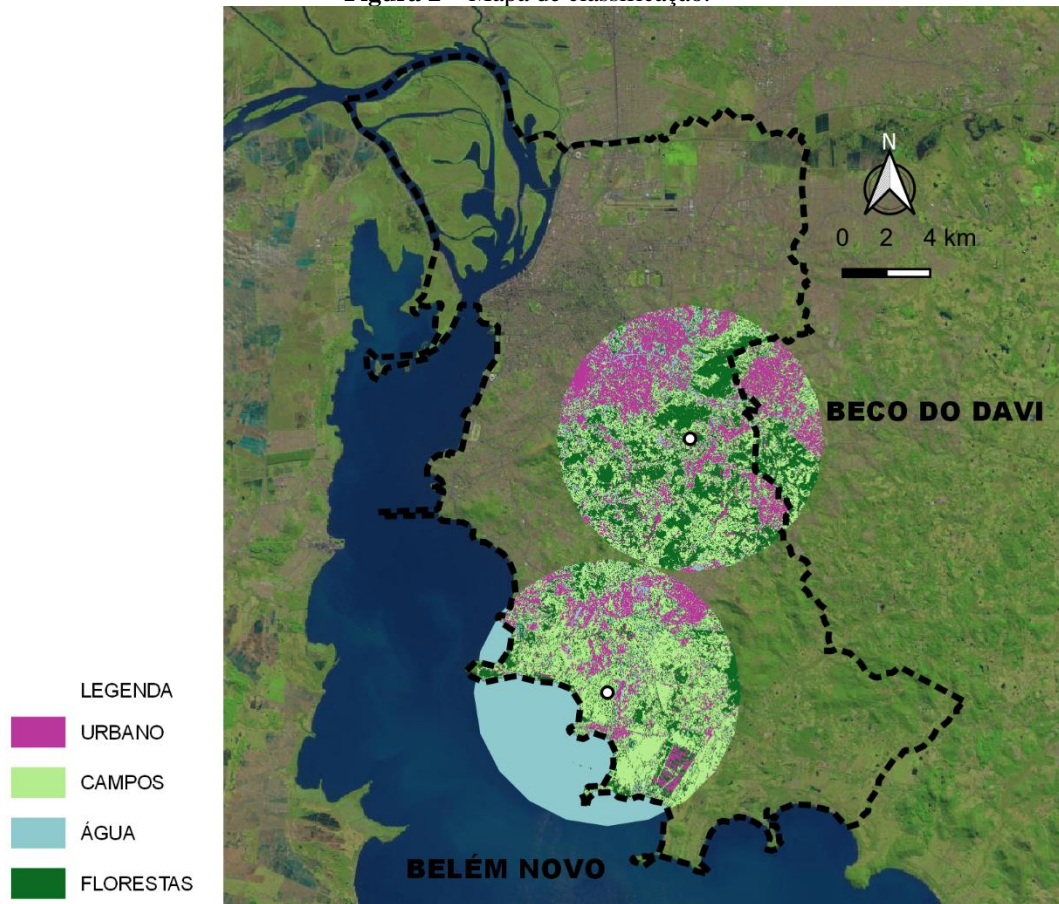
2.3 Metodologia Trama Verde-Azul

O princípio conceitual de uma Trama Verde-Azul propõe a integração de disciplinas cujo objetivo é estabelecer estratégias de preservação e restauração dos corredores de biodiversidade. A estruturação do presente trabalho foi feito com base na riqueza da fauna, flora e superfície dos territórios (urbanizados, campos, florestas e corpos d’água) numa matriz para a análise multivariada. O espaço temporal entre os inventários que é de novembro de 2006 a julho de 2009 não pode se constituir num obstáculo em relação ao trabalho devido ao tempo dispendido na coleta de amostras neste tipo de pesquisa (Silveira, et al., 2010) e a possibilidade de incorporação por metodologias que agregam estudos ecológicos rápidos e de longa duração (Magnusson, et al., 2005).

A área de estudo foi delimitada a partir de um círculo com raio de 6,1 km (distância média entre os dois locais de amostragem), dividida em duas etapas:

I - Classificação digital das imagens do satélite *Landsat-8*, coleção OLI, órbita ponto 221081 de 24 de dezembro de 2021, com interferência de nuvens menor que 10%, centralizado nas coordenadas (-51.20, -30.07), bandas 2, 3 e 4 processadas na plataforma *Google Earth Engine*. Após treinar as bandas espectrais, o processo gerou quatro classes de paisagens pelo algoritmo *smilecart* que foram sistematicamente analisadas para obter a maior proximidade das classes com as imagens de campo.

II – A imagem final foi exportada na escala de 30 metros para processamento através do programa *Qgis*, georreferenciada no Sistema de Coordenadas UTM Sirgas 2000 zona 22S conforme base cartográfica do Município de Porto Alegre. O arquivo *raster* foi vetorizado, as feições corrigidas e classificadas em superfícies: de água, urbana, de campos e de florestas (Figura 2).

Figura 2 – Mapa de classificação.

Fonte: feito no programa QGIS pelo autor.

A análise multivariada e do índice de Shannon foram realizadas com o software *Paleontological statistics* (Hammer, 1999-2012) através das seguintes variáveis explanatórias com as respectivas unidades de medidas: 1-avifauna campo (nº de espécies), 2-avifauna florestas (nº de espécies), 3-avifauna aquática (nº de espécies), 4-herpetofauna (nº de espécies), 5-mastofauna (nº de espécies), 6-flora campestre (nº de espécies), 7-flora florestal (nº de espécies), 8-flora aquática (nº de espécies), 9-superfície de água (hectare), 10 superfície urbana (hectare), 11- superfície de campos (hectare), 12-superfície de florestas (hectare).

A avifauna e a flora foram separados pela tendência de presença nos ambientes aquático, campestre e florestal em decorrência da maior abundância na natureza. A herpetofauna está presente em todos os ambientes, entretanto é muito associada ao ambiente aquático e devido ao número restrito de dados coletados, a exemplo da mastofauna, ambos não foram divididos pelo habitat característico (Tabela 1).

Tabela 1 – Tabela de variáveis

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Beco Davi	28	40	2	11	10	42	117	11	1057	2884	4015	3551
Belém Novo	34	32	16	14	6	15	53	13	3960	1510	4179	1859

Fonte: Elaborado pelo autor

A similaridade entre as variáveis é calculada através da distância da corda, que é uma medida euclidiana normalizada através da transformação vetorial conforme a fórmula (Bocard, Gillet, & Legendre, 2011, p. 317):

$$D_{jk} = \sqrt{2 - 2 \frac{\sum_i x_{ji} x_{ki}}{\sqrt{\sum_i x_{ji}^2 \sum_i x_{ki}^2}}} \quad (1)$$

A ordenação foi feita pela Análise de Coordenadas Principais (PCoA) que é um método que permite projetar a dispersão das variáveis no espaço multidimensional em um número menor de dimensões para a identificação de alguma ordem e dimensionamento métrico num espaço multidimensional, preservando as relações de distância com qualquer tipo de descritor (Legendre & Legendre, 2012, p. 434). O agrupamento possibilita a obtenção de informações contidas nos dados na tentativa de interpretá-los em termos ecológicos. O trabalho adota o método UPGMA (ponderado por pares através de médias aritméticas) que permite que um objeto se junte a um grupo pela média das distâncias entre ele e todos os membros do grupo (Bocard, Gillet, & Legendre, 2011, p. 54 e 59).

A última etapa da análise é o cálculo do Índice de Diversidade de *Shannon* que pressupõe que a incerteza é baseada na distribuição da frequência da quantidade de espécies. Ele corresponde a zero quando houver somente uma espécie e aumenta à medida que novos indivíduos forem acrescentados na amostra (Magurram, 1988). O índice (h é a diversidade de espécies e p as frequências) é calculado pela fórmula:

$$h = - \sum_{i=1}^q p_i \log p_i \quad (2)$$

Considerando o padrão conceitual da Lei francesa *Grenelle* que propõe a interdisciplinaridade na busca da coerência ecológica, a integração das técnicas utilizadas pela ecologia e a geociência vai de encontro ao conceito de estruturação da Trama Verde-Azul como contribuição metodológica e instrumento de avaliação da qualidade dos espaços com o propósito de orientar diagnósticos para tomadas de decisões na busca de solução para problemas ambientais.

3. Resultados e Discussão

3.1 Resultados

A análise de semelhança foi realizada pela distância de corda que é uma distância euclidiana com dados normalizados, cujos resultados constam na tabela 2:

Tabela 2 – Matriz de similaridade da distância de corda.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0											
2	0,206	0										
3	0,557	0,752	0									
4	0,022	0,229	0,535	0								
5	0,339	0,134	0,875	0,362	0							
6	0,532	0,330	1,048	0,554	0,197	0						
7	0,452	0,248	0,977	0,474	0,115	0,082	0					
8	0,013	0,193	0,569	0,036	0,326	0,519	0,439	0				
9	0,424	0,624	0,136	0,402	0,750	0,929	0,856	0,437	0			
10	0,396	0,192	0,927	0,419	0,058	0,139	0,056	0,383	0,804	0		
11	0,076	0,130	0,630	0,099	0,264	0,458	0,377	0,063	0,499	0,321	0	
12	0,396	0,192	0,927	0,419	0,058	0,139	0,056	0,383	0,804	5,01	0,321	0

Fonte: Elaborado pelo autor

A semelhança de cada variável em relação a duas mais próximas (Tabela 3) indica coerentemente a proximidade da avifauna aquática e a herpetofauna dos corpos d'água tendo em vista a importância deste ambiente como habitat e fonte de alimentação. As áreas urbanas estão mais próximas das matas e mamíferos, sendo que o Beco do Davi está na fronteira dos bairros mais adensados. Este ambiente possibilita que os animais muitas vezes encontrem água, alimentos e locais de apropriados de descanso e reprodução em parques, praças e áreas verdes, hipótese que pode ser uma possível explicação para o resultado. O ambiente campestre indica a riqueza da avifauna campestre, entretanto, se relaciona com variáveis de outras paisagens na qual a incorporação de banhados na classificação de imagens e a transição de biomas possa ser uma possível resposta.

Tabela 3 – Semelhança entre variáveis

Variável analisada	Primeira mais próxima	Segunda mais próxima
avifauna campestre	flora aquática (0,013)	herpetofauna (0,022)
avifauna florestal	campos (0,130)	mastofauna (0,134)
avifauna aquática	herpetofauna (0,022)	água (0,136)
herpetofauna	avifauna campestre (0,022)	flora aquática (0,036)
mastofauna	áreas urbanas (0,058)	florestas (0,058)
flora campestre	flora florestal (0,082)	áreas urbanas e florestas (0,139)
flora florestal	áreas urbanas (0,058)	florestas (0,058)
flora aquática	avifauna campestre (0,013)	herpetofauna (0,036)
água	avifauna aquática (0,136)	herpetofauna (0,402)
áreas urbanas	flora florestal (0,056)	mastofauna (0,058)
campos	flora aquática (0,063)	avifauna campestre (0,076)

florestas

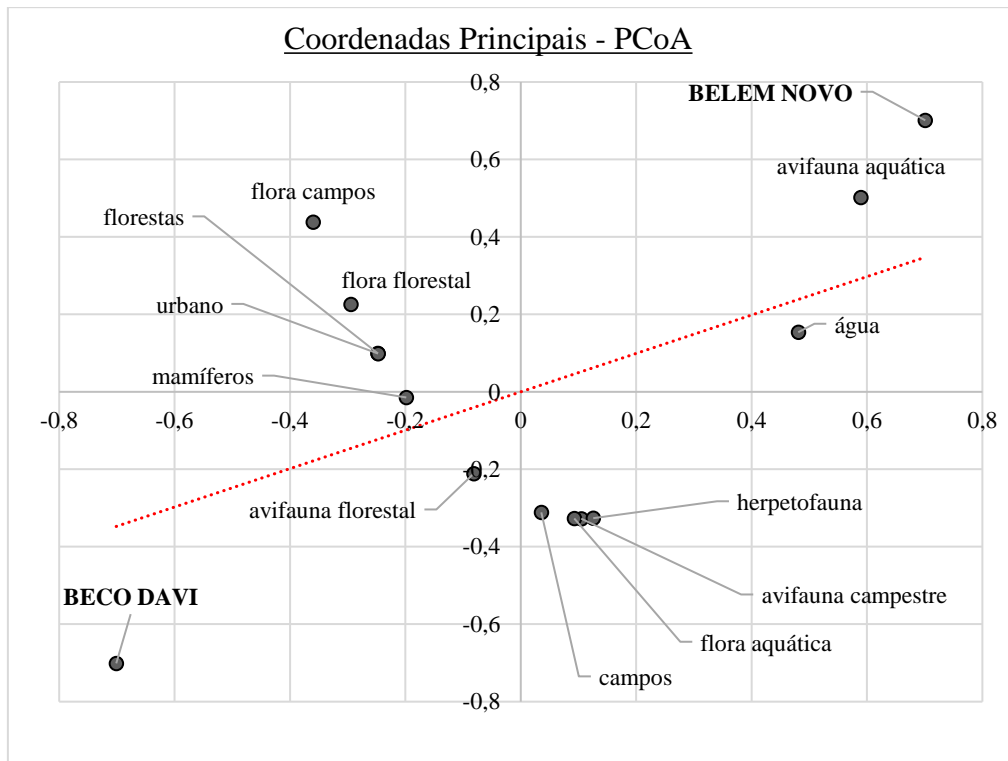
flora florestal (0,056)

mastofauna (0,058)

Fonte: Elaborado pelo autor

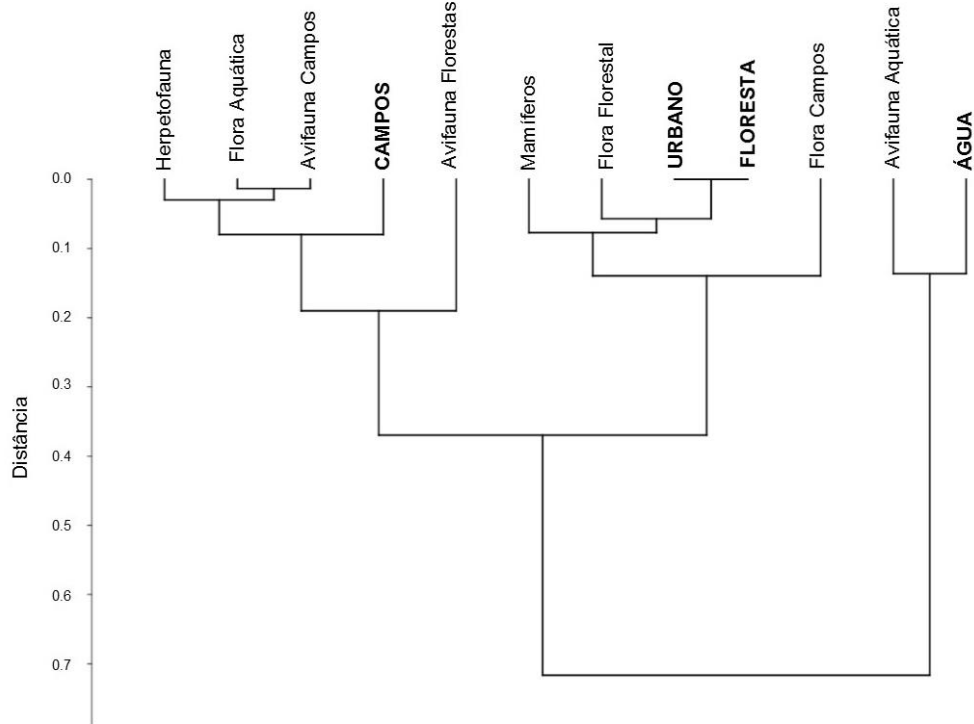
Os resultados da análise de Coordenadas Principais (PCoA) mostram as variáveis mais associadas ao ambiente aquático (superfície de campos, flora aquática, avifauna campestre, herpetofauna, avifauna aquática e superfície de água) no gradiente positivo do eixo x (contém 97,26% de significância) e mais próximas do Belém Novo, fortemente influenciado pela presença do Lago Guaíba. As demais variáveis (superfície de florestas, flora campestre, flora florestal, espaços urbanos, mamíferos e avifauna florestal) se encontram no gradiente negativo que é influenciado pelo Beco do Davi. O ambiente campestre se situa mesclado entre as duas localidades a exemplo dos resultados da análise de semelhança (Figura 3).

Figura 3 – Mapa de dispersão – Análise de Coordenadas Principais com a posição das unidades amostrais em relação as variáveis analisadas.



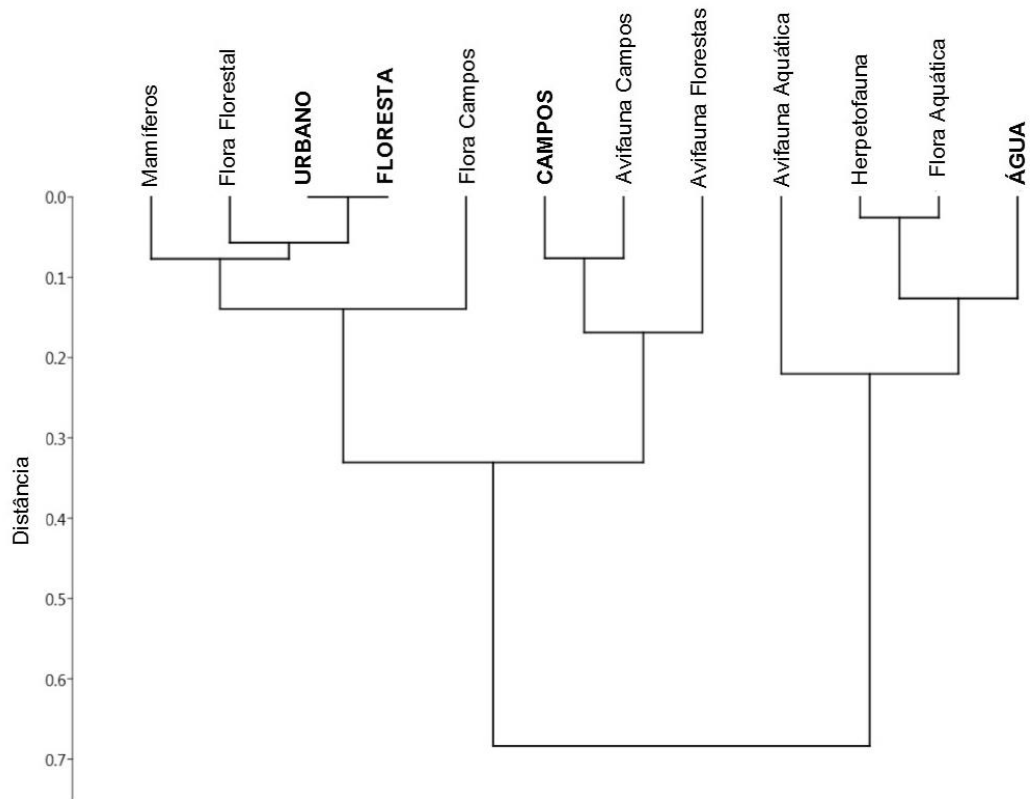
Fonte: Mapa de dispersão feito pelo autor no Excel

É da natureza do homem a classificação dos objetos em categorias a fim de nomeá-los e para que isto se torne possível é necessário o reconhecimento de subconjuntos em ambientes discretos e contínuos, de forma a agrupá-los e mostrar as distinções ou separações entre grupos (Legendre & Legendre, 2012). A análise de agrupamento aponta a composição de dois grupos nítidos, sendo o primeiro dividido em dois subgrupos: (herpetofauna, flora aquática, avifauna campestre, campos e avifauna florestal) e (mamíferos, flora florestal, espaços urbanos, florestas e flora florestal), estando a avifauna aquática e a água isolados do restante no outro grupo (Figura 4).

Figura 4 – Dendrograma (espécies existentes)

Fonte: Feito pelo autor no programa *Paleontological Statistics*.

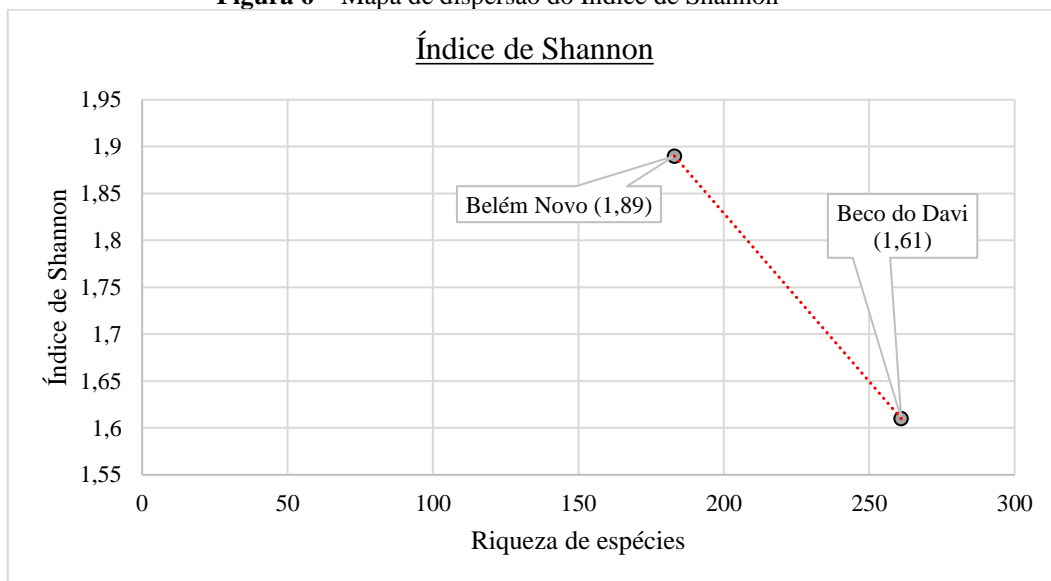
A Unidade Amostral do Belém Novo está sujeita a maior da água, de forma que se dobrarmos hipoteticamente a herpetofauna nesta localidade de 14 para 28 espécies e a flora aquática de 13 para 26 espécies o agrupamento torna-se mais coerente. Esta simulação experimental do ambiente aquático é um método utilizado pela ecologia como demonstrado no trabalho de Carvalho et al. (2017) de modelagem de nicho ecológico de espécies arbóreas para orientar programas de reflorestamento e estudos de biogeografia em áreas tropicais que obteve resultados satisfatórios (Carvalho, et al., 2017). Este incremento de espécies associadas à água (herpetofauna e da flora aquática) no Belém Novo sugere os efeitos da poluição hídrica, desmatamento, diminuição da cadeia alimentar, entre outros danos sobre as Áreas de Preservação Permanente, banhados e corpos d'água ocasionando a diminuição de espécies animais e vegetais com reflexos no conjunto. (Figura 5).

Figura 5 – Dendograma (introdução de espécies)

Fonte: Feito pelo autor no programa *Paleontological statistics*

Com base na quantidade de espécies inventariadas nos dois Relatórios, o índice de Shannon para o Beco do Davi (261 espécies) é de 1,61 e no Belém Novo (183 espécies) é de 1,89 mostrando a existência de algum padrão ecológico entre os dois locais, respeitadas as características morfológicas de cada área. Magurram (1988) mostrou que o índice é muito sensível para a baixa riqueza de espécies por combinar riqueza e uniformidade, no qual valor ' h ' varia (na maioria dos casos) entre 1,5 e 3,5; sendo em torno de 3,0 para aproximadamente 100 espécies e 10^5 para um ' h ' maior do que 5,0 (Magurram, 1988).

Apesar do Beco do Davi possuir maior riqueza, o resultado é maior no Belém Novo e isto se deve pela melhor frequência de cada grupo em relação ao conjunto como um todo, conforme determinado na equação do índice. A maior variedade florística das matas no Beco do Davi (117 espécies) demonstra a qualidade deste estrato preservado, entretanto, a baixa uniformidade (frequência) das demais espécies mostra a possibilidade da pressão dos efeitos da urbanização no local (Figura 6).

Figura 6 – Mapa de dispersão do Índice de Shannon

Fonte: Mapa de dispersão feito pelo autor no Excel

A análise multivariada e do índice de Shannon confirmou a formação de dois grupos paisagísticos característicos (urbano e florestal no Beco do Davi e a água no Belém Novo), grupos estes que estão sujeitos aos efeitos da urbanização com reflexos na qualidade dos recursos hídricos.

3.2 Discussão

Sendo a Trama Verde-Azul uma abordagem metodológica para a formulação de propostas para conservar e restaurar corredores de biodiversidade, o presente trabalho mostrou-se adequado na utilização de técnicas da geociência e ferramentas estatísticas aplicadas na Ecologia para a compreensão da influência antrópica na área de estudo. Neste sentido, a realização da pesquisa baseada na riqueza de espécies demonstrou a viabilidade para diagnosticar possíveis causas da fragmentação de habitats e erosão da biodiversidade, em concordância com os objetivos defendidos pelo *Centro de Recursos da Infraestrutura Verde-Azul* do Ministério da Transição Ecológica e Solidária da França (Ressources, 2022).

Há trabalhos que já adotaram estas ferramentas como o estudo sobre os aspectos florísticos e ecológicos da vegetação campestre do Morro da Polícia em Porto Alegre que indicou riqueza de espécies superior a outros trabalhos comparados e grupos nítidos sujeitos a fatores ambientais como insolação e altitude (Boldrini, Miotto, Longhi-Wagner, M., Pillar, & Marzall, 1998). As análises multivariadas possibilitam a exploração de relações estruturais de dados referentes a diferentes disciplinas como a taxonomia, antropologia, física, sociologia, entre outras (Prado, Lewinsohn, Carmo, & Hogan, 2002), (Santos, et al., 2004), (Scipioni, Galvão, & Longhi, 2013), (Tavares, Valadão, Weber, & Espinosa, 2019) conforme demonstrado em uma pesquisa realizada no Parque Nacional de Aparados da Serra (divisa entre os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul) que mostrou a existência de diferenças entre assembleias de aves que habitam as Florestas Ombrófila Mista das que habitam a Ombrófila Densa, bem como a influência da altitude nestas comunidades (Franco, 2017). Estas técnicas também foram utilizadas com grupos florísticos em florestas estacionais decíduais no Rio Grande do Sul em que foi observado o trânsito de espécies entre os conjuntos amostrais analisados (Scipioni, Galvão, & Longhi, 2013).

O processamento das imagens na plataforma digital complementada com a vetorização e correção de imagens no Sistema de Informações Geográficas através do Programa *Qgis* possibilitou agilidade na

quantificação das áreas e composição da matriz de similaridade para a realização do trabalho. As imagens de satélite são muito utilizadas em estudos ambientais conforme demonstrado por Belloli & et.al. (2022) que através da integração de imagens do Satélites Sentinel-1 e 2A classificou com precisão as tipologias de cobertura vegetal no sul do Brasil (Belloli, Guasselli, Kuplich, Ruiz, & Simioni, 2022). A ferramenta *Google Earth Engine* também é uma poderosa aliada neste sentido visto que possibilita o processamento de imagens sem a necessidade de transporte de arquivos digitais (*download*). Esta técnica foi utilizada por Ferrão (2021) que delimitou e mapeou as áreas úmidas e uso do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí, a partir de processamento em nuvem das imagens da constelação Sentinel-2 à partir de 56 cenas (Ferrão, 2021).

A análise de Agrupamento e a Ordenação identificaram a pressão exercida pela urbanização nas áreas verdes do Beco do Davi, localizado na Lomba do Pinheiro que é um bairro que teve o crescimento populacional desordenado e possui o maior assentamento de ocupações irregulares de Porto Alegre (Rosa, 2013). Esta dinâmica acarretou impactos ambientais como desmatamento, ocupação de encostas, assoreamento de arroios, entre outros danos no bairro (Rosa, 2013). O Índice de Diversidade de Shannon também confirmou o resultado dos outros diagnósticos no Beco do Davi que possui riqueza significativa da flora florestal na área de estudo, entretanto, com baixa frequência nas demais variáveis. A utilização deste índice com outras ferramentas no estudo realizado vai de encontro ao sugerido por Correa & Rodrigues (2020) que mostrou na experiência com um estrato florestal secundário em Antioquia na Colômbia que o índice de diversidade de *Shannon* dever ser utilizado conjuntamente com outras análises estatísticas para avaliar adequadamente as condições ecológicas de um ambiente (Correa & Rodríguez, 2020).

A baixa riqueza de espécies relacionadas ao ambiente aquático no Belém Novo mostra que a gestão dos recursos hídricos é insuficiente para garantir a qualidade das águas em níveis adequados. A qualidade insatisfatória da água bruta em Porto Alegre é mostrada num trabalho onde é apontado que, apesar dos investimentos feitos em saneamento básico, o lago Guaíba ainda se encontra poluído ocasionando a limitação do seu uso e sugerindo um descaso com este ambiente natural (Andrade, Rodrigues, Andrezza, & Camargo, 2019).

Um Corredor de biodiversidade não pode ser compreendido somente como continuidade espacial de áreas verdes, visto que estas, apesar de fundamentais na estruturação de habitats, muitas vezes podem não fornecer todas as respostas ecológicas dos ecossistemas. Echer & et. al. (2015) sustenta, por exemplo, que uma das maiores ameaças ao bioma Pampa, além da agricultura, é o avanço da silvicultura em áreas de campo nativo para abastecer indústrias de celulose (Echer, Cruz, Estrela, Moreira, & Gravato, 2015) e que este ambiente antrópico também influencia na diminuição na riqueza de aves campestres (Pezda, 2015). É uma característica natural que algumas espécies sejam extremamente abundantes; outras apenas moderadamente comuns e o restante, na maioria das vezes raras, no qual, embora os impactos antropogênicos sejam complexos, há evidência da perda de espécies nos habitats terrestres (Magurran, Dornelas, Moyes, Gotelli, & McGill, 2015). Os índices encontrados de 1,61 (Beco do Davi) e 1,89 (Belém Novo) situam-se no intervalo médio exposto por Magurran (1988) confirmando os efeitos danosos de usos em locais que possivelmente já foram utilizados para o pastoreio ou cultura de arroz conforme relatado nos Estudos de Impacto Ambiental.

4. Conclusão

Os desafios ambientais da atualidade recomendam a interdisciplinaridade de análise para a compreensão dos fenômenos na busca de soluções que proporcionem ambientes mais saudáveis para a biodiversidade e a humanidade como um todo. O presente estudo que utilizou ferramentas de geoprocessamento, análise multivariada e o Índice de Diversidade de Shannon mostrou resultado satisfatório ao mostrar que a gestão dos recursos hídricos é insuficiente, bem como a pressão exercida pela urbanização sobre as áreas verdes.

Tão importante quanto preservar territórios ambientalmente importantes é entender como eles se conectam ecologicamente, no qual o trabalho também indica a viabilidade de utilização das ferramentas

adotadas em consonância com o conceito multidisciplinar proposto pelos defensores da Trama Verde-Azul, sugerindo a viabilidade da metodologia proposta como instrumento de diagnóstico para tomada de decisão na gestão urbana e ambiental de acordo com a realidade local.

5. Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Territorial (PROPUR) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) pelo suporte técnico - operacional e a Prefeitura Municipal de Porto Alegre por disponibilizar a carga horária para a realização da pesquisa.

6. Referências

- Amsallem, J., Deshayes, M., & Bonneville, M. (janeiro de 2010). Analyse comparative de méthodes d'élaboration de trames vertes et bleues nationales et régionales. *Sciences Eaux & Territoires*, pp. 40-45. doi:10.3917/set.003.0040
- Andrade, L. C., Rodrigues, L. R., Andrezza, R., & Camargo, F. A. (março / abril de 2019). Lago Guaíba: uma análise histórico-cultural da poluição hídrica em Porto Alegre, RS, Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 24, 229-237. doi:10.1590/S1413-41522019155281
- Baesse, C. Q. (fevereiro de 2015). **Aves como biomonitoras da qualidade ambiental em fragmentos florestais do Cerrado**. Dissertação (Mestrado em Ecologia). *Dissertação (Mestrado em Ecologia)*, 113. Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. doi:https://doi.org/10.14393/ufu.di.2015.218
- Begon, M., Townsend, C. R., & Harper, J. L. (2006). *Ecology from individuals to ecosystems* (4ª ed.). Oxford, Inglaterra: Blackwell publishing Ltd.
- Bocard, D., Gillet, F., & Legendre, P. (2011). *Numeral ecology with R*. Montreal, Canadá: Springer New York Dordrecht London Heidelberg. doi:10.1007/978-1-4419-7976-6
- Boldrini, I. I., Miotto, S. T., Longhi-Wagner, M., H., Pillar, V. D., & Marzall, K. (08 de julho de 1998). Aspectos florísticos e ecológicos da vegetação campestre do Morro da Polícia, Porto Alegre, RS, Brasil. *68º Congresso Nacional de Botânica*, 89-100. Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. Fonte: <https://doi.org/10.1590/S0102-33061998000100007>
- Braga, M. R. (20 de maio de 2015). **Mudanças climáticas e migração de aves (TYRANNIDAE) nas Américas**. *Dissertação (Mestrado em Ecologia)*, 6. Campinas, São Paulo, Brasil.
- Carvalho, M. C., Gomide, L. R., Santos, R. M., Scolforo, J. R., Carvalho, L. M., & Mello, J. M. (abril - junho de 2017). Modeling ecological niche of tree species in brazilian tropical area. *Cerne*, 23, 229-240. doi:10.1590/01047760201723022308
- Cassatti, L., Ferreira, C. P., & Langeani, F. (2009). A fish-based biotic integrity index for assessment of lowland streams in southeastern Brazil. *Hydrobiologia*, pp. 173-189. doi:10.1007/s10750-008-9656-x
- Delfino, H. (2020). *Quero-quero (vanellus chilensis)*. (U. F. (UFRGS), Produtor) Acesso em 30 de setembro de 2020, disponível em Fauna digital do Rio Grande do Sul: <https://www.ufrgs.br/faunadigitalrs/quero-querovanellus-chilensis/>
- Franco, D. (2017). **Estrutura da comunidade de aves florestais em Gradiente altitudinal na porção sul da Floresta Atlântica brasileira: Apoio a planos de manejo / ação em Unidade de Conservação**. *Dissertação (Mestrado em Biologia Animal)*. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Gomes, D. F., Schwartzman, L. F., Fonseca, E. L., & Saldanha, D. L. (maio de 2020). Identificação e mapeamento de unidades homogêneas do bioma Pampa utilizando imagens Sentinel-2 no Complexo Eólico Cerro Chato, Santana do Livramento, RS. *Brazilian Journal of Development*, 6, pp. 29497-29506. doi:10.34117/bjdv6n5-414
- Groenblaw, A. (2022). *Urban green-blue grids for sustainable and resilient cities*. Acesso em 06 de abril de 2022, disponível em <http://www.urbangreenbluegrids.com/>

- Hasenack, H., & Et.al. (março de 2008). **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre. I.**
- Legendre, P., & Legendre, L. (2012). *Numerical ecology* (3ª ed.). Paris, Quebec, França, Canadá: Elsevier.
- Lema, T. d., & Martins, L. A. (2011). *Anfíbio do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: EdiPucRS.
- Loge, P. L. (2018). **Estudo de caso para implantação de trama Verde-Azul na sub-bacia hidrográfica do Arroio Cascata, Porto Alegre, RS, Brasil.** *Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional)*, 96- 98-115-119. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. Fonte: <http://hdl.handle.net/10183/188436>
- Magalhães, F. N. (novembro de 2008). Da metrópole à cidade-região, na direção de um novo arranjo espacial metropolitano? *Revista brasileira de estudos urbanos e regionais*, 10, pp. 9-27. doi:<http://dx.doi.org/10.22296/2317-1529.2008v10n2p9>
- Magnusson, W. E., Lima, A. P., Luizão, R., Luizão, F., Costa, F. R., Castilho, C. V., & Kinupp, V. F. (05 de fevereiro de 2005). **RAPELD: A modification of the Gentry method for biodiversity surveys in long-term ecological research sites.** *Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia*, 5, (n2). doi:<https://doi.org/10.1590/S1676-06032005000300002>
- Magurram, A. E. (1988). *Ecological Diversity and Its Measurement*. Nova Jersey: Princeton University Press.
- Menegat, R., & al., e. (1998). *Atlas ambiental de Porto Alegre*. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Fonte: <https://www.ufrgs.br/atlas/>
- Pötz, H. (2012). *Groenblauwe netwerken - handleiding voor veerkrachtige steden / Green-Blue Grids - manual for resilient cities*. Roterdan, Holanda: Atelier Groenblauwe.
- Prado, P. I., Lewinsohn, T. M., Carmo, R. L., & Hogan, D. J. (2002). Ordenação multivariada na ecologia e seu uso em ciências ambientais. *Ambiente e Sociedade*, 10, pp. 1-17.
- Prestes, R. M., & Vicenci, K. L. (julho / setembro de 2019). Bioindicadores como avaliação de impacto ambiental. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, pp. 1473-1493. Acesso em 26 de setembro de 2021, disponível em <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BJAER/article/view/3258>
- Profill. (2007). *Condomínio Residencial Belém Novo*. Impacto Ambiental, Profill Engenharia e Ambiente Ltda., Porto Alegre.
- Profill. (2009). *Empreendimento de Interesse Social Beco do Davi*. Impacto Ambiental, Profill Engenharia e Ambiente Ltda., Porto Alegre.
- Reis, D. (30 de setembro de 2020). *Teiú (Salvatore meriane)*. Fonte: Fauna digital do Rio Grande do Sul: <https://www.ufrgs.br/faunadigitalrs/teiu-salvator-merianae/>
- Ressources, C. d. (2022). *Trame Verte et Bleue - Centre de ressources*. Acesso em 06 de abril de 2022, disponível em <http://www.trameverteetbleue.fr/qui-sommes-nous/centre-ressources-trame-verte-bleue>
- Rosa, A. d. (2013). **Lomba do Pinheiro - Porto Alegre / RS: Um bairro em transformação. Um olhar espacial ao período de 1960 a 2013.** *Dissertação (Mestrado em Geografia)*, 167. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Santana, D. J. (30 de setembro de 2020). *Museu de zoologia João Moojen*. (U. F. Viçosa, Editor) Acesso em 2020, disponível em Bicho da vez - sapo Martelo: <http://www.museudezoologia.ufv.br/bichodavez/edicao07.htm>
- Santos, J. H., Ferreira, R. L., Silva, J. A., Souza, A. L., Santos, E. d., & Meunier, I. M. (08 de junho de 2004). Distinção de grupos ecológicos de espécies florestais por meio de técnicas multivariadas. *Revista Árvore*, 28, pp. 387-396. doi:[doi:doi.org/10.1590/S0100-67622004000300010](https://doi.org/10.1590/S0100-67622004000300010)
- Scipioni, M. C., Galvão, F., & Longhi, S. J. (abril / junho de 2013). Composição florística e estratégias de dispersão e regeneração de grupos florísticos em florestas estacionais decíduais no Rio Grande do Sul. *Floresta*, 43, pp. 241-254. Fonte: <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v43i2.27098>
- Silva, C. d. (janeiro / março de 2020). Classificação supervisionada de área irrigada utilizando índices espectrais de imagens Landsat-8 com Google Earth Engine. *Irriga - Brazilian journal of irrigation and drainage*, 25, 160-169. Fonte: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2020v25n1p160-169>
- Silveira, A. L. (2018). **Trama Verde-Azul e drenagem urbana sustentável.** Em N. Ladwig, & H. Schwalm, *Planejamento e gestão territorial: A sustentabilidade dos ecossistemas urbanos* (pp. 69-

- 91). Criciúma, Santa Catarina, Brasil: Ediunes. doi:<http://dx.doi.org/10.18616/pgt03>
- Silveira, F. F. (2020). *Fauna digital do Rio Grande do Sul*. (U. F. Sul, Editor) Acesso em 02 de outubro de 2020, disponível em Tatu-galinha (*Dasypus novemcinctus*): <https://www.ufrgs.br/faunadigitalrs/mamiferos/ordem-cingulata/familia-dasyopodidae/tatu-galinha-dasypus-novemcinctus/>
- Silveira, L. F., Beisiegel, B. d., Curcio, F. F., Valdujo, P. H., Dixo, M., Verdade, V. K., . . . Cunningham, P. T. (17 de maio de 2010). Para que servem os inventários de fauna? *Estudos Avançados*, 24 (n68), pp. 173-207. doi:<https://doi.org/10.1590/S0103-40142010000100015>
- Tavares, L. d., Valadão, F. C., Weber, O. L., & Espinosa, M. M. (jan. / mar. de 2019). Análise multivariada de espécies florestais nativas em relação aos atributos químicos e texturais do solo na região de Cotriguaçu- MT. *Ciência Florestal*, 29, 281-291. Fonte: <https://doi.org/10.5902/1980509823577>
- Tozato, H. d. (2015). Impacto da mudanças climáticas na biodiversidade das zonas úmidas: **Uma análise sobre políticas públicas e gestão no Brasil e França**. Tese (Doutorado em Ciência Ambientais). São Paulo, São Paulo, Brasil. doi:10.11606/T.106.2016.tde-02032016-081209